

Identifikasi Perubahan Mutu Selama Penyimpanan Buah Manggis Menggunakan Near Infra Red Spectroscopy

(Identification of Quality Changes of Mangosteen During Storage Using Near Infra Red Spectroscopy)

Sutrisno^{1*}, Yohanes Aris Purwanto¹, Emmy Darmawati¹, Enrico Syaefullah²

ABSTRAK

Salah satu perubahan kualitas pada buah manggis utuh selama penyimpanan adalah pengerasan kulit buah yang diduga berkaitan dengan kadar air kulit buah. Tujuan penelitian adalah menentukan korelasi antara kadar air dengan kekerasan, dan memprediksi perubahan kadar air berdasarkan reflektansi *near infrared* (NIR). Hubungan kadar air dan kekerasan kulit buah manggis pada penyimpanan 13 °C dapat ditentukan dengan persamaan $y = 0,07972x^2 - 9,833x + 305,9$ dan pada suhu ruang $y = 0,1207x^2 - 14,89x + 460,8$; dimana nilai y adalah kekerasan kulit dan x adalah kadar air kulit buah. Evaluasi hasil kalibrasi dan validasi hasil pengukuran NIR dan metode oven menggunakan *partial least square* (PLS) menunjukkan nilai r sebesar 0,758–0,882; *RMSEC* dan *RMSEP* sebesar 0,09–0,39% dan $CV < 5\%$ yaitu 2,5–3,3%. Prediksi kadar air kulit buah manggis berdasarkan reflektansi NIR adalah y (suhu: 8°C) = $-0,057x + 65,14$; y (suhu 13 °C) = $-0,253x + 64,96$; y (suhu ruang) = $-0,421x + 64,76$.

Kata kunci: chilling injury, manggis, mutu simpan, near infra red, partial least square

ABSTRACT

One of quality changes during storage of intact mangosteen fruit is firmness. This occurrence was predicted to have associate with moisture content in the pericarp. The objective of this research was to determine the correlation between moisture content and firmness, and to predict moisture content changes based on reflectance spectrum of near infra red (NIR). The correlation between moisture content and firmness at 13 °C is $y = 0.07972x^2 - 9.833x + 305.9$ while at room temperature showed $y = 0.1207x^2 - 14.89x + 460.8$; in which y refers to firmness and x refers to moisture content in pericarp. The calibration and validation evaluation using partial least square of moisture content resulted in NIR and oven method showed that the magnitude of r is 0.758–0.882; *RMSEC* and *RMSEP* is 0.09–0.39%; $CV < 5\%$ is at 2.5–3.3%. Moisture content prediction using NIR reflectant spektrum is y (temperature: 8 °C) = $-0.057x + 65.14$; y (temperature 13 °C) = $-0.253x + 64.96$; y (room temperature) = $-0.421x + 64.76$.

Keywords: chilling injury, mangosteen, near infra red, partial least square, storage quality

PENDAHULUAN

Buah-buahan tropika, termasuk salah satunya adalah buah manggis, sangat rentan terhadap suhu rendah selama penyimpanan. Akibatnya buah-buahan yang didinginkan pada suhu lebih rendah dari suhu optimumnya dapat mengalami kerusakan, yang dikenal dengan *chilling injury* atau kerusakan dingin. *Chilling injury* adalah kerusakan fisiologi dari produk pertanian atau penurunan kualitas yang diakibatkan oleh pengaruh suhu penyimpanan dingin diatas titik beku (Parkin *et al.* 1989). Muchtadi dan Sugiyono (1989) mengemukakan pada suhu rendah (0–10 °C) buah-buahan segar dapat mengalami kerusakan karena tidak dapat melakukan proses metabolisme secara normal. Kerusakan dingin tersebut seperti adanya lekukan, cacat, bercak-bercak kecoklatan pada permukaan buah, penyimpangan warna di

bagian dalam atau gagal matang setelah dikeluarkan dari ruang pendingin (Pantastico 1986). Untuk menghindari terjadinya *chilling injury* tersebut, buah-buahan segar harus disimpan di atas ambang batas suhu toleransi penyimpanannya. Secara teoritis, semakin rendah suhu penyimpanan, kemampuan respirasi buah-buahan segar dapat semakin dihambat. Karena pada suhu penyimpanan yang rendah, solubilitas dari cairan dalam sel buah-buahan segar akan semakin tinggi yang dapat menekan proses respirasi produk (Purwanto *et al.* 2005). Tetapi sebaliknya, suhu dingin dapat menyebabkan kerusakan dinding sel sehingga pada saat produk diletakkan pada suhu ruang, air dalam sel akan keluar melalui dinding sel yang telah rusak dan akibatnya terjadi kerusakan buah tersebut. Kerusakan ini sering tidak nampak dari luar buah selama masih berada pada ruang penyimpan dingin. Tetapi jika diamati melalui parameter internal seperti perubahan *ion leakage* dan pH, terjadi perubahan yang cukup signifikan yang dapat dijadikan acuan untuk mendeteksi gejala terjadinya *chilling injury* (Purwanto *et al.* 2005). Kerusakan membran sering diikuti oleh efek sekunder, seperti produksi etilen, peningkatan respirasi, penurunan fotosintesis, dan perubahan struktur

¹ Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

² Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian, Badan Litbang Pertanian.

* Penulis korespondensi: E-mail: kensutrisno@yahoo.com

selular yang menyebabkan buah menjadi lebih rentan terhadap penyakit (Elmasry *et al.* 2009).

Teerachaichayut *et al.* (2007) menyatakan bahwa mutu manggis tidak hanya ditentukan oleh faktor eksternal seperti warna, bentuk, ukuran, kulit cacat, noda getah dan kerusakan serangga, tetapi juga oleh faktor internal seperti daging buah bening, getah kuning dan pengerasan kulit buah yang juga sangat penting bagi penerimaan konsumen. Keadaan daging buah bening merupakan salah satu faktor internal paling penting yang menentukan mutu manggis. Kekerasan kulit buah dan penyusutan tangkai dan sepal termasuk komponen utama mutu buah manggis. Gejala pengerasan kulit buah, pencoklatan daging buah dan hilangnya aroma sebagai indikator terjadinya *chilling injury* dalam penyimpanan dingin pada suhu 3–6 °C. Gejala *chilling injury* pada buah manggis yang lain adalah pengerasan kulit buah yang diduga berkaitan dengan kandungan air kulit buah (Choehom *et al.* 2003). Buah manggis masih mengalami aktivitas metabolisme, seperti transpirasi dan respirasi setelah panen. Kedua proses ini mengakibatkan perubahan kandungan air dalam jaringan kulit buah (Azhar 2007; Anggraeni 2008; Sugiyono *et al.* 2009). Kulit sebagai bagian terluar buah manggis yang berhubungan langsung dengan lingkungan penyimpanan. Pada kulit inilah terjadi proses transpirasi yaitu proses penguapan air dari tanaman melalui mulut kulit dan kutikula. Pada awal penyimpanan, ruang-ruang antar sel jaringan parenkim kulit luar dan tengah manggis terisi oleh cairan, namun pada akhir penyimpanan ruang-ruang antar sel tersebut rusak karena kehilangan cairan dan terjadi penebalan dinding sel yang mengakibatkan kulit menjadi keras. Transpirasi cairan di ruang-ruang antar sel menyebabkan sel menciut sehingga ruang antar sel menyatu dan zat pektin saling berikatan (Qanyah 2004; Azhar 2007). Bunsiri *et al.* 2002 menunjukkan bahwa peningkatan kekerasan kulit semakin cepat jika terjadi kerusakan mekanis yang disebabkan oleh tekanan atau benturan selama proses panen atau selama transportasi.

Deteksi dini dan diagnosis *chilling injury* agak sulit, karena luka yang dihasilkan sering terlihat samar selama masih dalam suhu rendah. Gejala menjadi jelas ketika produk ditempatkan dalam suhu hangat. *Chilling injury* mungkin muncul hampir seketika atau membutuhkan beberapa hari untuk berkembang (Skog 1998; Elmasry *et al.* 2009). Demikian juga, untuk perubahan kadar air pada buah yang sama tidak bisa diketahui melalui pengukuran dengan metode oven. Diperlukan metode nondestruktif yang dapat mengamati perubahan secara kontinyu dan tepat. Penggunaan *near infrared* (NIR) spectroscopy dapat diterapkan untuk pendeteksian secara akurat. Informasi pendeteksian diperoleh dari interaksi antara gelombang NIR dengan bahan biologi penyusun bahan/produk yaitu air, protein, karbohidrat, atau lemak (Pasquini 2003). Keunggulan lain metode NIR spectroscopy yaitu pengukuran sangat cepat (5–25 detik per sampel), tingkat presisi tinggi, tidak perlu

penyiapan sampel secara khusus, bebas bahan kimia, dan tanpa limbah (Osborne *et al.* 1993). Buning (2003) menyatakan bahwa analisis kandungan air dengan NIR spectroscopy merupakan salah satu teknologi yang cepat dan telah berhasil diaplikasikan lebih dari 30 tahun pada berbagai komoditi pertanian dan bahan-bahan makanan. Bahkan teknologi NIR spectroscopy pertama kali berhasil digunakan untuk menentukan kandungan air pada bahan pangan (Givens *et al.* 1997; Buning 2003), sedangkan (Cozzolino 2005) menentukan kandungan air dalam minyak ikan.

Tujuan penelitian adalah menentukan korelasi antara kadar air dengan kekerasan, dan memprediksi perubahan kadar air berdasarkan reflektan NIR.

METODE PENELITIAN

Buah manggis segar yang diperoleh dari kebun petani di Purwakarta digunakan sebagai sample penelitian. Buah memiliki berat seragam berkisar 80–100 gram, tingkat kematangan indeks dua, bentuk normal, permukaan kulit buah bersih, bebas cacat dan bercak jamur atau penyakit.

Pengukuran spektrum sampel dilakukan dengan spektrometer NIRFlex N-500 (*fiber optic solids*) dari Buchi Switzerland yang dioperasikan pada panjang gelombang 800–2500 nm dan menggunakan detektor extended range InGaAs.

Kadar air kulit buah manggis ditentukan menggunakan metode oven dengan mengambil sampel kulit buah berukuran 2 x 2 x 0,5 cm sebanyak 2 potong tepat di bagian yang diambil spektranya sebagai data ulangan. Data yang dipakai dalam perhitungan adalah rata-rata dari ulangan tersebut. Mula-mula, cawan alumunium yang digunakan ditimbang beratnya, lalu dipanaskan dalam oven pada suhu 105 °C sampai beratnya konstan (A). Potongan kulit manggis dirajang dan diletakkan di cawan yang telah diketahui beratnya kemudian ditimbang (B). Selanjutnya sampel bersama cawan diletakkan di dalam oven listrik pada suhu 105 °C selama 20 jam atau hingga diperoleh berat konstan kemudian didinginkan dalam desikator lalu ditimbang (C). Kadar air dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Kadar air (KA)} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\%$$

dimana: KA_{bb} adalah kadar air basis basah (%); A adalah berat cawan (g); B adalah berat cawan dan bahan sebelum dikeringkan (g); C adalah berat cawan dan bahan setelah dikeringkan (g).

Pengukuran dilakukan menggunakan *rheometer* yang diset dengan mode 20, beban maksimum 10 kg, kedalaman tekan 5 mm, kecepatan penurunan beban 60 mm/menit, dan diameter plunger jarum 2,5 mm. Buah manggis ditekan pada 2 bagian yang diambil spektranya sehingga diperoleh data dua ulangan.

Penelitian dilakukan pada dua tahap. Tahap pertama bertujuan untuk mengembangkan model kalibrasi NIR untuk memprediksi kadar air kulit buah

manggis dan menentukan persamaan regresi kadar air terhadap kekerasan kulit berdasarkan data destruktif. Pada tahap kedua data reflektan sampel monitoring digunakan untuk memprediksi perubahan kadar air kulit buah selama penyimpanan dengan model kalibrasi NIR terbaik yang diperoleh pada tahap pertama. Pada tahapan ini dilakukan percobaan menggunakan sampel monitoring yang disimpan selama 28 hari pada 8 °C, 13 °C, dan selama 16 hari pada suhu ruang. Lama penyimpanan optimum ditentukan berdasarkan hasil penelitian tahap pertama. Spektra reflektan diukur pada hari ke-0, 2, 4, 8, 16, 24, dan 28 pada penyimpanan dingin dan pada hari ke-0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, dan 16 pada suhu ruang.

Analisis Data

Data diolah dengan metode *partial least square* (PLS) menggunakan program NIRCals 5.2 yang terintegrasi dengan spektrometer. Data reflektan dinormalisasi (0–1) lalu 2/3 bagian data digunakan untuk mengembangkan model kalibrasi dan 1/3 bagian data untuk validasi. Total data reflektan sebanyak 264 data pada penyimpanan 8 °C dan 13 °C serta 384 data pada penyimpanan suhu ruang. Hasil kalibrasi dan validasi NIR dengan metode PLS dievaluasi berdasarkan nilai koefisien korelasi (r), *root mean standard error of calibration* (RMSEC), *root mean standard error of performance* (RMSEP), dan *coefficient of variation* (CV). Model kalibrasi yang baik memiliki nilai r yang tinggi, nilai CV yang rendah, serta nilai RMSEC dan RMSEP yang hampir sama (William & Norris 1990). Pada penelitian ini, model kalibrasi dinyatakan baik jika nilai $r \geq 0,75$ dan $CV < 5\%$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan kadar air dan kekerasan kulit buah manggis selama penyimpanan

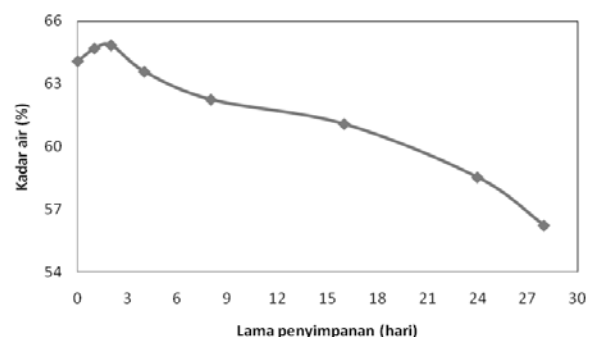
Kadar air rata-rata kulit buah manggis awal penyimpanan pada suhu 13 °C sebesar 63,88% dan setelah penyimpanan selama 28 hari terjadi penurunan kadar air sebesar 9,69%. Pola perubahan kadar air kulit buah terjadi peningkatan selama 3 hari penyimpanan. Kondisi ini disebabkan adanya proses penyesuaian suhu lapang dengan suhu penyimpanan yang lebih rendah. Akibatnya aktivitas respirasi tinggi dan pembentukan uap air dalam ruang penyimpanan juga tinggi, sehingga kulit buah cenderung lebih lembab dan basah. Namun, setelah 3 hari penyimpanan terjadi penurunan kadar air yang tinggi (Gambar 1a) sampai akhir masa simpannya. Penurunan kadar air tersebut juga diikuti dengan peningkatan kekerasan kulit buah manggis yang signifikan setelah penyimpanan lebih dari 15 hari (Gambar 1b). Berdasarkan pengamatan secara destruktif terhadap parameter mutu, yaitu kekerasan dan kadar air terlihat bahwa terdapat korelasi positif terhadap perubahan yang terjadi. Hal ini mengindikasikan adanya pengaruh kadar air terhadap peningkatan kekerasan

kulit buah. Choehom *et al.* 2003 melaporkan bahwa gejala *chilling injury* buah manggis adalah pengerasan kulit buah (pericarp), pencoklatan kulit buah bagian dalam dan aroma yang tidak enak. Gejala *chilling injury* yang dinyatakan dalam CI (*chilling injury index*) terlihat kerusakan terjadi setelah 5, 10, dan 20 hari penyimpanan pada masing-masing suhu 3, 6, dan 12 °C. Pada suhu penyimpanan yang lebih rendah terjadi peningkatan kekerasan kulit buah selama 5 hari simpan. Tetapi peningkatan kekerasan tersebut tidak diikuti dengan peningkatan kadar lignin dalam kulit buah yang signifikan.

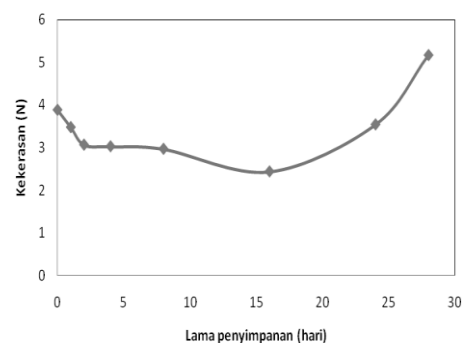
Persamaan regresi kadar air terhadap kekerasan kulit

Kadar air berkorelasi dengan kekerasan kulit buah pada penyimpanan 13 °C dan suhu ruang tetapi tidak berkorelasi pada penyimpanan 8 °C. Pada suhu 8 °C, data kadar air yang diperoleh sebesar 63,03–65,52% dan data kekerasan sebesar 3,14–5,04 N. Rentang data kadar air yang sempit menyebabkan pola hubungan antara kadar air dan kekerasan kulit tidak dapat ditentukan. Sedangkan pada penyimpanan 13 °C dan suhu ruang, rentang data kadar air yang diperoleh lebih lebar.

Hubungan kadar air dan kekerasan kulit buah manggis pada penyimpanan 13 °C dapat ditentukan dengan persamaan $y = 0,07972x^2 - 9,833x + 305,9$ dan pada suhu ruang $y = 0,1207x^2 - 14,89x + 460,8$. Nilai y adalah kekerasan kulit dan x adalah kadar air



(a)

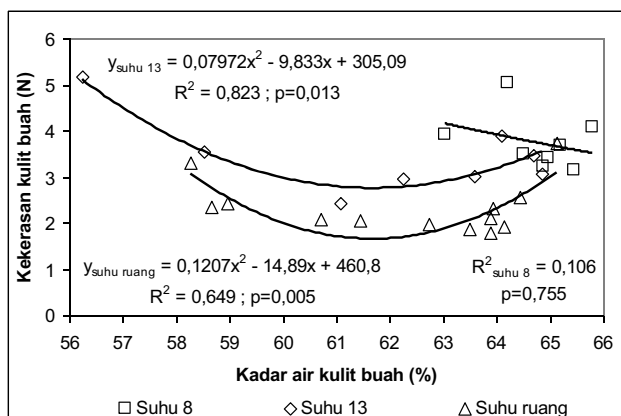


(b)

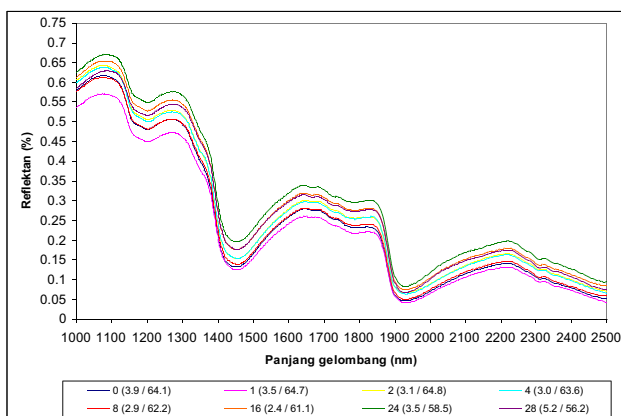
Gambar 1 Perubahan (a) kadar air dan (b) kekerasan kulit buah manggis selama penyimpanan pada suhu 13 °C.

kulit. Kedua persamaan tersebut dapat digunakan untuk memprediksi kekerasan kulit berdasarkan perubahan kadar air kulit buah manggis pada penelitian tahap kedua sebab $p\text{-value} < 5\%$ (Gambar 2). Berdasarkan nilai R^2 , kontribusi kadar air kulit terhadap variasi kekerasan sebesar 64,9–82,3%. Hal ini berarti kekerasan kulit buah manggis tidak hanya dipengaruhi oleh kadar air tetapi juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti kandungan lignin dan phenolic acid (Bunsiri *et al.* 2002; Choehom *et al.* 2003).

Gambar 3 menunjukkan perubahan spektra original kulit buah manggis selama penyimpanan 28 hari, dimana kisaran nilai reflektan maksimum 0,5% hingga 0,65%. Berdasarkan nilai tersebut, bahwa perubahan yang terjadi berkorelasi positif terhadap perubahan kekerasan dan kadar air kulit buah manggis. Namun demikian, nilai reflektan belum mengindikasikan nilai kadar air atau kekerasan, masih diperlukan normalisasi, kalibrasi dan validasi terhadap data destruktif. Bentuk spektra kulit buah manggis selama pengamatan juga menunjukkan adanya kecenderungan, yaitu semakin tinggi kadar air, maka reflektan NIR semakin rendah pada panjang gelombang 1000–1300 nm. Demikian juga sebaliknya untuk kekerasan kulit buah. Elmasry *et al.* 2009 menemukan karakteristik spektrum pada panjang



Gambar 2 Hasil analisis regresi kadar air dan kekerasan kulit buah manggis.

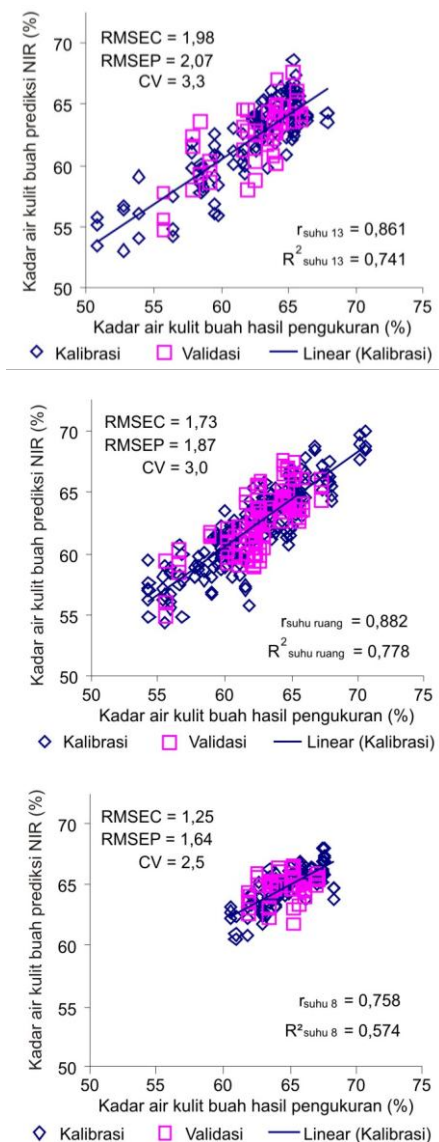


Gambar 3 Perubahan spektra kulit buah manggis selama 28 hari penyimpanan.

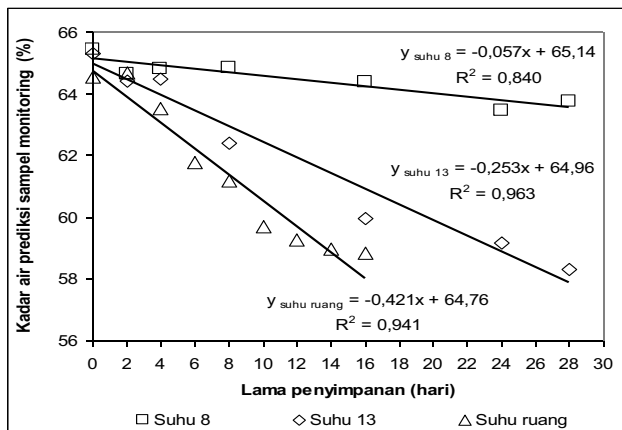
gelombang 400–700 nm untuk buah apel dengan kondisi normal (tidak cedera) dan cedera tidak ada perbedaan yang nyata. Pendeteksian dilakukan untuk permukaan luar dan dalam, dimana keduanya juga tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dalam pendeteksian gejala kerusakan daging buah manggis dengan gelombang pendek NIR (SW-NIR) terlihat perbedaan yang nyata antara buah dengan luasan daging bening yang besar dengan daging normal (Teerachaichayut *et al.* 2007). Mireei *et al.* 2010 juga menunjukkan nilai absorban buah kurma pada tingkat kematangan yang berbeda juga menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Pengembangan model kalibrasi dan validasi NIR untuk memprediksi kadar air dengan partial least square

Model kalibrasi dibangun berdasarkan korelasi data reflektan NIR dan data kadar air kulit buah hasil pengukuran dengan metode oven. Kelompok data



Gambar 4 Hasil kalibrasi dan validasi NIR dengan metode PLS.



Gambar 5 Perubahan kadar air prediksi kulit buah manggis selama penyimpanan.

yang digunakan untuk kalibrasi dan validasi berasal dari buah yang berbeda. Data kalibrasi berjumlah 114, 117, dan 210 untuk penyimpanan pada 8 °C, 13 °C, dan suhu ruang. Data validasi berjumlah 51 untuk penyimpanan pada 8 °C, 13 °C, dan 96 untuk penyimpanan pada suhu ruang. Normalisasi 0–1 dilakukan untuk mengurangi *error* yang disebabkan oleh perbedaan ukuran partikel.

Evaluasi hasil kalibrasi dan validasi PLS menunjukkan nilai *r* sebesar 0,758–0,882 artinya ada korelasi antara kadar air kulit buah dengan reflektan NIR pada ketiga suhu penyimpanan. Selisih nilai *RMSEC* dan *RMSEP* sebesar 0,09–0,39% dan nilai *CV* < 5%, yaitu 2,5–3,3% artinya akurasi dan kestabilan model baik (Gambar 4). Dengan demikian, model kalibrasi NIR dengan metode PLS dapat memprediksi kadar air kulit buah manggis dengan baik pada penyimpanan 8 °C, 13 °C, dan suhu ruang.

Prediksi kadar air kulit buah manggis berdasarkan reflektan NIR

Berdasarkan hasil prediksi, kadar air rata-rata kulit buah manggis menurun secara linear selama penyimpanan pada ketiga suhu. Penurunan kadar air kulit tertinggi terjadi pada suhu ruang, yaitu 5,85% selama 16 hari dan terendah pada 8 °C, yaitu 1,99% selama 28 hari penyimpanan. Semakin tinggi suhu penyimpanan maka penurunan kadar air semakin cepat. Kecepatan penurunan kadar air kulit buah selama penyimpanan sebesar 0,057% per hari pada 8 °C, 0,253% per hari pada 13 °C, dan 0,421% per hari pada suhu ruang. Berdasarkan nilai R^2 , kontribusi lama penyimpanan terhadap variasi kadar air kulit buah manggis sebesar 84,0–96,3% (Gambar 5).

KESIMPULAN

Pengerasan kulit merupakan masalah utama yang dijumpai pada penyimpanan buah manggis yang dipengaruhi oleh kadar air pada kulit buah. Terdapat hubungan kadar air dengan kekerasan dengan nilai ketepatan 64,9–82,3% pada suhu 13 °C dan suhu

ruang. Hubungan dengan NIR reflektan adalah semakin tinggi kadar air maka reflektan NIR semakin rendah pada panjang gelombang 1000–1300 nm. Begitu pula dengan kekerasan. Lebih lanjut lagi, bahwa reflektan NIR mampu memprediksi kadar air dengan baik pada penyimpanan 8 °C, 13 °C, dan suhu ruang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian yang telah dilakukan dibiayai oleh Sekretariat Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian melalui program KKP3T tahun 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni W. 2008. Penggunaan bahan pelapis dan plastic kemasan untuk meningkatkan daya simpan buah manggis. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Azhar KS. 2007. Pengkajian bahan pelapis, kemasan, dan suhu penyimpanan untuk memperpanjang masa simpan buah manggis. [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Buning HP. 2003. Analysis of water in food by near infrared spectroscopy. *Food Chemistry*. 82(1): 107–115.
- Bunsiri A, Ketsa S, Paull RE. 2003. Phenolic metabolism and lignin synthesis in damage pericarp of mangosteen fruit after impact. *Postharvest Biology and Technology*. 29(1): 61–71.
- Choehom R, Ketsa S, Van Doorn WG. 2003. Chilling injury in mangosteen fruit. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 78(4): 559–562.
- Cozzolino D, Murray I, Chreate A, Scaife JR. 2005. Multivariate determination of free fatty acids and moisture in fish oils by partial least squares regression and near infrared spectroscopy. *LWT*. 38(8): 821–828.
- Elmasry G, Wang N, Vigneault C. 2009. Detecting chilling injury in Red Delicious apple using hyperspectral imaging and neural network. *J. Postharvest Biology and Technology*. 52(1): 1–8.
- Mireei SA, Mohtasebi SS, Massudi R, Rafiee S, Arabanian AS, Berardinelli A. 2010. Non-destructive measurement of moisture and soluble solid content of Mazafati date fruit by NIR spectroscopy. *Australian Journal of Crop Science*. 4(3): 175–179.
- Muchtadi TR, Sugiyono. 1992. *Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan*. Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Osborne BG, Feran T, Hindle PH. 1993. *Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverage analysis*. Singapore: Longman Publisher.
- Pantastico ErB. 1986. *Fisiologi pasca panen, penanganan dan pemanfaatan buah-buahan dan sayuran tropika dan subtropika*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Parkin KL, Marangoni A, Jackman RL, Yada RY, Stanley DW. 1989. *Chilling injury: a review of possible mechanism*. *Journal of Food Biochemistry* 13(2): 127–153.
- Pasquini C. 2003. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. *J Braz Chem Soc*. 14(2): 198–219.
- Purwanto YA, Oshita S, Kawagoe Y Makino Y. 2005. Determination of *chilling injury* index in cucumber fruits through proton NMR analysis. Peer reviewed paper *International Conference on Research Highlights and Vanguard Technology on Environmental Engineering in Agricultural Systems*, September 12–15, 2005, Kanazawa, Japan.
- Qanytah. 2004. Kajian perubahan mutu buah manggis (*Garcinia mangostana* L.) dengan perlakuan precooling dan penggunaan giberelin selama penyimpanan. [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sugiyono, Sutrisno, Dwiarsih B. 2009. Pengaruh Pelilinan Buah Manggis (*Garcinia mangostana* L.) selama Penyimpanan. Prosiding Seminar Nasional dan Gelar Teknologi PERTETA. Hal. A72–A86. ISSN: 2081-7152.
- Teerachaichayut S, Kil KY, Terdwongworakul A, Thanapase W, Nakanishi Y. 2007. Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. *J. Postharvest Biology and Technology*. 43(2): 202–206.
- William P, Norris K. 1990. *Near infrared technology in the agricultural and food industries*. Ed ke-2. Minnesota: American Association of Cereal Chemists Inc.